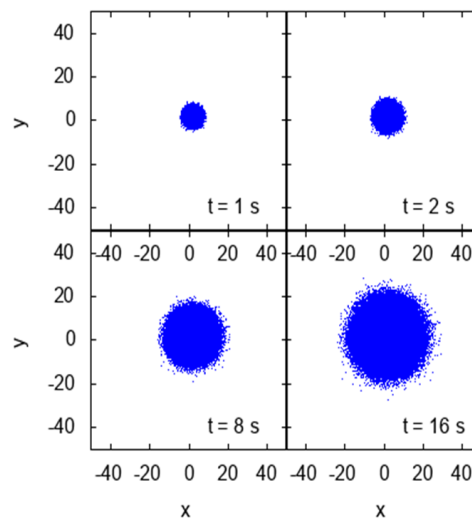


JURNAL

Teori

dan Aplikasi

Fisika



Gambar 8. hal 62

JURNAL Teori dan Aplikasi Fisika
ISSN 2303-016X, Volume 09, Nomor 01, Januari 2021

PENANGGUNG JAWAB

Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam (FMIPA)
Universitas Lampung

PIMPINAN REDAKSI

Junaidi

DEWAN REDAKSI

Gurum Ahmad Pauzi
Leni Rumiyantri
Roniys Marjunus
Agus Riyanto
Donni Kis Apriyanto
Iqbal Firdaus
Humairoh Ratu Ayu
Khoirul Effendi

MITRA BESTARI

Warsito (UNILA)
Dwi Asmi (UNILA)
Zulaini Supangat (UNIVERSITAS OF MALAYA)
Yanti Yulianti (UNILA)
Zarina Aspanut (UNIVERSITAS OF MALAYA)
Posman Manurung (UNILA)
Jatmiko Endro Suseno (UNDIP)
Khairurrijal (ITB)
Simon Sembiring (UNILA)

ALAMAT REDAKSI

Jurusan Fisika, Universitas Lampung
Jl. Sumantri Brojonegoro No.1 Bandar Lampung
Telp. 0721-701609 Ext. 719 Fax. 0721-704625
Email: jtaf@fmipa.unila.ac.id
<http://jurnal.fmipa.unila.ac.id/jtaf/>

Jurnal ini diterbitkan oleh Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Lampung bekerja sama dengan Himpunan Fisika Indonesia Cabang Lampung, sebagai sarana untuk mempublikasikan hasil penelitian, artikel review dari peneliti-peneliti di bidang fisika teori dan aplikasinya. Jurnal ini terbit dua kali setahun (Januari dan Juli), volume pertama terbit pada tahun 2013 dengan nama **Jurnal Teori dan Aplikasi Fisika (JTAF)** dengan ISSN **2303-016X**.

DAFTAR ISI

	Halaman
Pengukuran Modulus Geser Baja Menggunakan Analisis Osilasi Pegas-Massa dengan Software Logger Pro (Samuel Hia, Albertus Hariwangsa Panuluh)	1 – 8
Pengaruh waktu milling terhadap Sifat mikro struktur dan magnet dari NdFeB dengan proses Wet dan Dry milling (Wahyu Solafide Sipahutar, William Wiliam, Muljadi Muljadi)	9 – 16
Perancangan Sensor LVDT dan Potensiometer Geser Sederhana Sebagai Alat Potensial Pendeteksi Pergeseran Tanah (Tri Siswandi Syahputra, Heru Asyubi, Eko Satria)	17 – 22
Analisis Pola Struktur Kalsium Karbonat (CaCO₃) Pada Cangkang Kerang Darah (Anadara granosa) Di Bukit Kerang Kabupaten Aceh Tamiang (Putri Mekar Insani S, Rahmatsyah Rahmatsyah)	23 – 32
Pengaruh Molaritas dalam Teknik Spray terhadap Performa Foto-detektor Berbasis ZnO (Okky Fajar Tri Maryana, Anisa Fitri, Mohamad Samsul Anrokhi, Wahyu Solafide Sipatuhur, Eka Nurfani)	33 – 38
Rancang Bangun Alat Pengukur Suhu Real Time Laboratorium menggunakan Protokol MQTT Berbasis Internet of Things (Indrawata Wardhana, Vandri Ahmad Isnaini, Rahmi Putri Wirman, Rita Syafitri, Akhmad nasuha)	39 – 46
Sintesis Ferroelektrik BaZrxTi1-xO₃ Dengan Variasi Zirkonium Terhadap Struktur Kristal dan Konstanta Dielektrik (Yunita Subarwanti, Erni Mariana)	47 – 54
Difusi Bebas 1D dan 2D dengan Monte Carlo: Perbandingan Distribusi Bilangan Random Normal dan Seragam dengan Box-Müller (Fairusy Fitria Haryani, Freddy Haryanto, Sparisoma Viridi)	55 – 64
Rancang Bangun Mesin Replika Penghasil Gas Vulkanik sebagai Studi Awal Monitoring Erupsi Gunung Berapi (umi salamah, Qonitatu Hidayah, Damar Yoga Kusuma)	65 – 70

	Halaman
Aplikasi Sensor BH1750 Untuk Sistem Monitoring Pertumbuhan Tanaman Cabai Menggunakan Arduino Bertenaga Surya Terintegrasi Internet of Things (IoT) (Syafri Wahyu, Mohamad Syafaat, Agnes Yuliana, Revi Meliyani)	71 – 78
Pengaruh Penambahan Co-Doping Mg/La Terhadap Karakterisasi TiO₂ Sebagai Fotoelektroda (Mursal Mursal, Nurul Azmi, Ismail Ismail)	79 – 86
Analisis Perhitungan Gaya Berat pada Tongkat Gayung Lipat untuk Mengetahui Efektifitas Pengungkit Jenis Tiga (Feri Hidayatullah Firmansyah, Tasha Nabila, Fauziah Mas'ula Soffa, Yusri El Fahmi)	87 – 96
Porous Si (111) Fabrication Using Electrochemical Anodization: Effects of Electrode Distance and Current Density (Risa Suryana, Fauzi Ahmad Bogas, Kuwat Triyana, Khairurrijal Khairurrijal, Heru Susanto)	97 – 102
Effect of Tube Voltage on the Use of Iterative Reconstruction on Computed Tomography Brain Examination (Muhammad Irsal, Nurbaiti Nurbaiti, Aulia Narendra Mukhtar, Shinta Gunawati, Wahyu Hidayat)	103 – 110
Kajian Implementasi Quality Control Faktor Bright Band dan Atenuasi Radar Cuaca C-Band (Deffi Putri, Eko Yulianto Nugroho, Januar Rahmad Pratama)	111 – 120

Pengukuran Modulus Geser Baja Menggunakan Analisis Osilasi Pegas-Massa dengan *Software Logger Pro*

Samuel Hia^(a), dan Albertus Hariwangsa Panuluh^{(b)*}

Program Studi Pendidikan Fisika, Universitas Sanata Dharma, Yogyakarta, Indonesia 55282

Email : ^(a) samuelhia97@gmail.com, ^(b*) panuluh@usd.ac.id

Diterima (21 Juli 2020), Direvisi (30 Januari 2021)

Abstract. A steel shear modulus measurement has been conducted using spring-mass oscillation analysis. The purpose of this study is to determine whether the spring-mass oscillation analysis method can measure the shear modulus of the steel. In this study, springs that are used are made of steel with a spring radius of $7,86 \pm 0,02$ mm, a spring wire diameter of $0.817 \pm 0,001$ mm and there is no distance between the coil springs. The length of the spring is varied 7 times, i.e., $4.75 \pm 0,01$ cm, $5.36 \pm 0,01$ cm, $5.89 \pm 0,01$ cm, $6.81 \pm 0,01$ cm, $8.53 \pm 0,01$ cm, $9.44 \pm 0,02$ cm, and $10.87 \pm 0,02$ cm. The spring radius and the diameter of the spring wire are measured using a micrometer screw, while the spring length is determined using image analysis using the Logger Pro program. The spring constant is determined from the equation of the results of the position graph fitting (x) with respect to time (t) load on the oscillating spring-mass system. The value of the shear modulus can be determined from the constants on the graph of the relationship of the spring constant to the spring length following the equation from Sommerfeld. The research measures the shear modulus is $1.24 \pm 0,02$ GPa.

Keywords: Spring constant, logger pro, shear modulus, oscillation, spring

Abstrak. Telah dilakukan penelitian pengukuran modulus geser baja menggunakan analisis osilasi pegas-massa. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui apakah metode analisis osilasi pegas-massa dapat mengukur nilai modulus geser baja penyusun pegas. Dalam penelitian ini, pegas yang digunakan berbahan baja dengan jari-jari pegas $7,86 \pm 0,02$ mm, diameter kawat pegas $0,817 \pm 0,001$ mm serta tidak ada jarak antara lilitan pegas. Panjang pegas divariasi sebanyak 7 kali yakni, $4,75 \pm 0,01$ cm, $5,36 \pm 0,01$ cm, $5,89 \pm 0,01$ cm, $6,81 \pm 0,01$ cm, $8,53 \pm 0,01$ cm, $9,44 \pm 0,02$ cm, dan $10,87 \pm 0,02$ cm. Jari-jari pegas dan diameter kawat pegas diukur menggunakan mikrometer sekrup, sedangkan panjang pegas ditentukan menggunakan analisis gambar menggunakan program *Logger Pro*. Konstanta pegas ditentukan dari persamaan hasil *fitting* grafik posisi (x) terhadap waktu (t) beban pada sistem pegas-massa yang berosilasi. Nilai modulus geser dapat ditentukan dari konstanta pada grafik hubungan konstanta pegas terhadap panjang pegas mengikuti persamaan dari Sommerfeld. Penelitian berhasil mengukur nilai modulus geser baja penyusun pegas sebesar $1,24 \pm 0,02$ GPa.

Kata kunci: Konstanta pegas, *logger pro*, modulus geser, osilasi, pegas

PENDAHULUAN

Teknologi telah berkembang pesat saat ini. *Smartphone* yang dulu hanya dipakai sebagai alat komunikasi, sekarang sudah dapat menjadi salah satu alat untuk

mengukur besaran-besaran fisika. Sensor gerak pada *smartphone* dapat digunakan untuk menentukan nilai percepatan gravitasi bumi melalui osilasi pendulum sederhana [1,2]. Selain menggunakan *smartphone*, analisis video dapat digunakan

untuk menghitung nilai redaman dan viskositas zat cair menggunakan osilasi pegas massa [3,4].

Analisis video dapat dilakukan dengan menggunakan berbagai *software*, salah satunya ialah *software Logger Pro*. *Software Logger Pro* juga dapat digunakan untuk menampilkan, menganalisis dan menyimpan data berupa tabel dan grafik yang diperoleh dari hasil pengukuran menggunakan suatu sensor, dengan syarat sensor tersebut dapat dihubungkan melalui *interface* ke komputer/laptop yang sudah terinstal *software Logger Pro*. Misalnya, sensor gerak dengan merek *LabPro* bisa dihubungkan ke komputer menggunakan (salah satunya) *interface LabPro* untuk memonitoring data dari pergerakan pegas-massa dan hasilnya bisa ditampilkan menggunakan *Software Logger Pro*.

Pegas-massa adalah sistem yang terdiri dari pegas dan massa. Pegas biasanya terbuat dari suatu bahan, misalnya plastik, besi dan baja. Baja merupakan suatu material yang sering digunakan dalam membuat sebuah bangunan maupun kendaraan. Salah satu besaran dari material yang penting adalah modulus geser (*shear modulus*) yang merupakan perbandingan antara tegangan geser terhadap regangan geser. Salah satu cara mengukur modulus geser adalah menggunakan resonansi magnetik [5].

Pengukuran modulus geser menggunakan resonansi magnetik memerlukan alat dan bahan yang sangat mahal. Serta tidak dapat dilakukan oleh siapa pun. Oleh karena itu, kami melakukan pengukuran modulus geser dari baja menggunakan analisis video osilasi pegas massa. Pada penelitian ini kami fokus kepada metode yang digunakan. Metode ini kami pilih karena relatif lebih mudah dan dapat dilakukan oleh siapa pun.

DASAR TEORI

Osilasi merupakan salah satu peristiwa yang sudah sejak lama diketahui. Terdapat dua macam osilasi yang paling sering dipakai untuk menjelaskan fenomena osilasi yaitu osilasi pendulum sederhana (bandul matematis) [6,7] dan osilasi sistem pegas massa [8,9]. Percepatan gravitasi merupakan salah satu besaran fisika yang dapat ditentukan menggunakan osilasi pendulum sederhana [10,11] maupun osilasi sistem pegas massa [12,13].

Menurut Sommerfeld, panjang pegas mempengaruhi nilai dari konstanta pegas, mengikuti **Persamaan 1** [14]:

$$k = \frac{G\pi d^4}{32R^2l} \quad (1)$$

dengan G = modulus geser bahan (Pa), d = diameter kawat pegas (m), R = jari-jari pegas (m), dan l = panjang pegas (m).

Nilai modulus geser G pada **Persamaan 1** dapat ditentukan dari konstanta M pada grafik hubungan konstanta pegas terhadap panjang pegas mengikuti **Persamaan 2**

$$k = Ml^{-1} \quad (2a)$$

dengan konstanta pada grafik M diberikan oleh **Persamaan 3**

$$M = \frac{G\pi d^4}{32R^2} \quad (3)$$

sehingga nilai modulus geser G dan ralatnya dapat ditentukan dengan menggunakan **Persamaan 4**

$$G = \frac{32MR^2}{\pi d^4} \quad (4a)$$

dan

$$dG = \sqrt{\left(\frac{\partial G}{\partial M} dM\right)^2} \quad (4b)$$

dengan dM diperoleh dari persamaan grafik pada **Gambar 3**.

Konstanta pegas ditentukan dari persamaan hasil *fitting* grafik posisi (x) terhadap waktu (t) beban pada sistem pegas-massa yang berosilasi. Posisi beban (massa) pada sistem pegas-massa yang berosilasi diberikan oleh **Persamaan 5** [15].

$$x(t) = A_0 e^{-\gamma t} \cos(\omega_D t + \delta) \quad (5)$$

dengan A_0 adalah amplitudo awal osilasi, γ adalah faktor redaman, δ adalah fase, dan ω_D merupakan frekuensi sudut teredam osilasi pegas massa. Frekuensi sudut teredam dalam hal ini adalah frekuensi sudut sistem pegas-massa yang berosilasi teredam. Frekuensi sudut teredam berhubungan dengan frekuensi sudut alami osilasi pegas-massa ω_n , mengikuti **Persamaan 6**.

$$\omega_D = \sqrt{\omega_n^2 - \gamma^2} \quad (6a)$$

atau

$$\omega_n = \sqrt{\omega_D^2 + \gamma^2} \quad (6b)$$

Dengan ω_n diberikan oleh **Persamaan 7**

$$\omega_n = \sqrt{\frac{k}{m}} \quad (7)$$

dimana k = konstanta pegas (N/m) dan m = massa beban (g), sehingga konstanta pegas diberikan oleh **Persamaan 8**

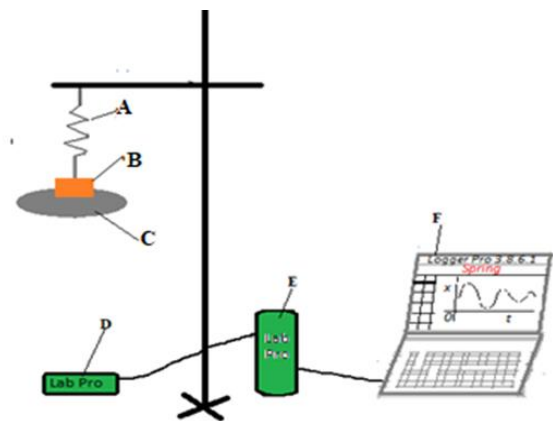
$$k = m\omega_n^2 \quad (8)$$

METODE PENELITIAN

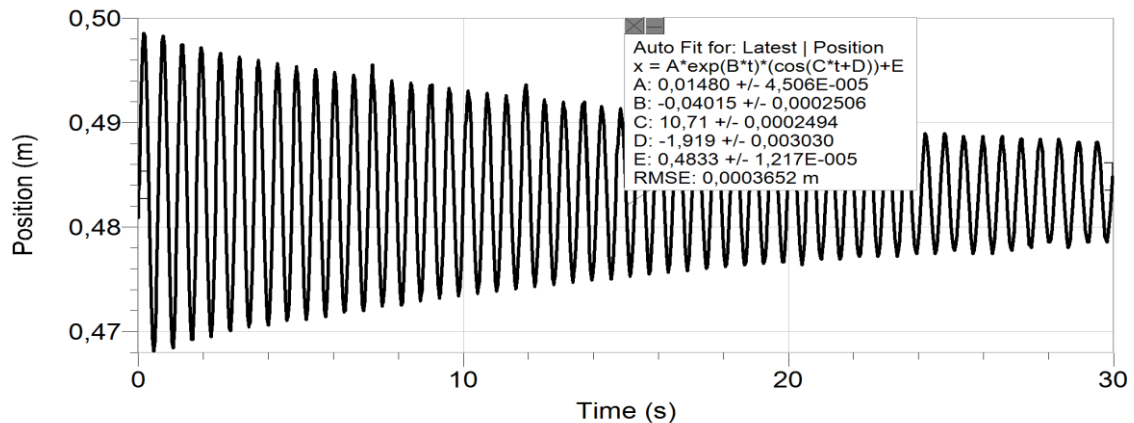
Dalam penelitian ini, pegas yang digunakan berbahan baja dengan jari-jari pegas $7,86 \pm 0,02$ mm, diameter kawat pegas $0,817 \pm 0,001$ mm serta tidak ada jarak antara lilitan pegas. Panjang pegas divariasi sebanyak 7 kali yakni, $4,75 \pm 0,01$ cm, $5,36 \pm 0,01$ cm, $5,89 \pm 0,01$ cm, $6,81 \pm 0,01$ cm, $8,53 \pm 0,01$ cm, $9,44 \pm 0,02$ cm, dan $10,87 \pm 0,02$ cm. Jari-jari pegas dan

diameter kawat pegas diukur menggunakan mikrometer sekrup, sedangkan panjang pegas ditentukan menggunakan analisis gambar menggunakan program *Logger Pro* dengan mistar digunakan sebagai acuan. Beban yang digantung di ujung bebas pegas memiliki massa 166,63 gram dan diukur menggunakan Neraca Ohaus. Beban terdiri dari lempeng kuningan dan piringan tripleks (luas penampang tripleks 320 cm²). Penggunaan piringan tripleks bertujuan untuk menunjukkan gejala redaman dengan cepat.

Posisi beban (A dan B) pada sistem pegas-massa (A, B dan C) yang berosilasi dimonitor menggunakan sensor gerak (D) dengan merek *Lab Pro* yang dihubungkan ke laptop (F) melalui *interface Lab Pro* (E), seperti yang ditunjukkan pada **Gambar 1**. Data osilasi yang diperoleh berupa grafik sinusoidal dan ditampilkan melalui *software Logger Pro* yang sudah diinstall di laptop, kemudian grafik di fit menggunakan persamaan yang sesuai dengan **Persamaan 5** sehingga nilai ω_D dan γ bisa diperoleh.



Gambar 1. Susunan peralatan untuk memonitor posisi pegas-massa yang berosilasi. Dengan urutan: A (pegas), B (kuningan), C (piringan tripleks), D (sensor gerak), E (*interface*), dan F (laptop)



Gambar 2. Grafik posisi terhadap waktu osilasi pegas-massa dengan pegas yang berbahan baja, panjang pegas 4,75 cm, jari-jari pegas 7,86 mm dan diameter kawat pegas 0,817 mm serta massa beban 166,63 gram.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Grafik posisi (x) terhadap waktu (t) beban pada sistem pegas-massa yang berosilasi, menggunakan pegas dengan panjang 4,75 cm, yang sudah di-fit menggunakan persamaan yang sesuai dengan **Persamaan 5** ditampilkan pada **Gambar 2**.

Persamaan grafik pada **Gambar 2** mengikuti **Persamaan 9**

$$x = Ae^{Bt} \cos(Ct + D) + E \quad (9)$$

Menyamakan **Persamaan 5** dan **Persamaan 9** sehingga didapatkan **Persamaan 10**

$$\gamma = -B \quad (10)$$

dan **Persamaan 11**

$$\omega_D = C \quad (11)$$

Grafik pada **Gambar 2** di-*fitting* dengan **Persamaan 9** diperoleh nilai $\gamma = 0,04015 \text{ s}^{-1}$ dan $\omega_D = 10,71 \text{ rad s}^{-1}$. Sehingga frekuensi sudut alaminya dapat

ditentukan menggunakan **Persamaan 6b** sebesar $\omega_n = 10,71 \text{ rad s}^{-1}$.

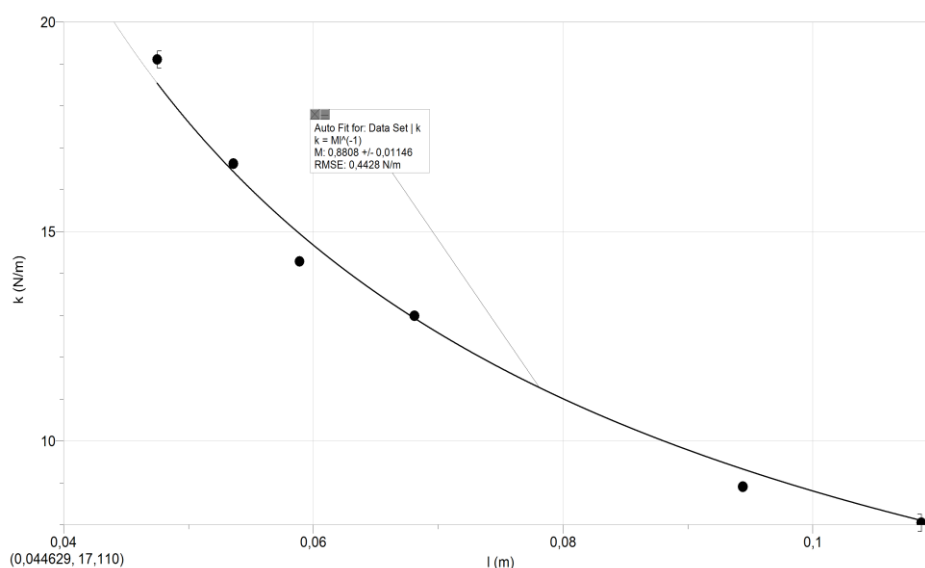
Dengan menggunakan **Persamaan (8)**, konstanta pegas baja dengan panjang 4,75 cm tersebut dapat ditentukan $k = m\omega_n^2$.

$$k = (1,6663 \times 10^{-1} \text{ kg}) \left(10,71008 \frac{\text{rad}}{\text{s}} \right)^2 = 19,11 \text{ N/m}$$

Penentuan konstanta pegas untuk 6 pegas lainnya dilakukan dengan cara yang sama untuk pegas dengan panjang 4,75 cm di atas. Hubungan konstanta pegas terhadap panjang pegas ditampilkan dalam **Tabel 1** dan grafik pada **Gambar 3**.

Dimana:

Bahan pegas	: baja
Diameter kawat pegas	: $8,17 \times 10^{-4} \text{ m}$
Jari-jari pegas	: $7,86 \times 10^{-3} \text{ m}$



Gambar 3. Grafik hubungan konstanta pegas terhadap panjang pegas

Tabel 1. Hubungan konstanta pegas terhadap panjang pegas

No	Panjang Pegas ($\times 10^{-2}$ m)	Konstanta Pegas (N/m)
1	$4,75 \pm 0,01$	19,11
2	$5,36 \pm 0,01$	16,62
3	$5,89 \pm 0,01$	14,29
4	$6,81 \pm 0,01$	12,99
5	$8,53 \pm 0,01$	10,50
6	$9,44 \pm 0,02$	8,91
7	$10,87 \pm 0,01$	8,05

Grafik hubungan konstanta pegas terhadap panjang pegas pada **Gambar 3** di atas di-fit dengan **Persamaan 2** sehingga didapat nilai konstanta grafik $M = 0,8808$ N. Melalui **Persamaan 4** dapat ditentukan nilai modulus geser dan ralat nilai modulus geser baja bahan penyusun pegas tersebut. Dengan memasukkan nilai $R = 7,86 \times 10^{-3}$ m dan $d = 8,17 \times 10^{-4}$ m, sehingga diperoleh nilai modulus geser baja penyusun pegas $G = (1,24 \pm 0,02)$ GPa.

Gambar 2 di atas memperlihatkan grafik posisi terhadap waktu beban pada sistem pegas-massa yang berosilasi. Terlihat bahwa amplitudo osilasi mengecil seiring bertambahnya waktu. Pengurangan amplitudo tersebut disebabkan oleh adanya

redaman yang bekerja pada sistem pegas-massa yang berosilasi [16]. Dari grafik pada **Gambar 2** dapat ditentukan besarnya faktor redaman dan frekuensi sudut teredam osilasi pegas-massa, sehingga frekuensi sudut alami sistem pegas-massa tersebut dapat ditentukan dengan **Persamaan 6b**, berikutnya konstanta pegas dapat ditentukan dengan **Persamaan 8**. Konstanta pegas dipengaruhi oleh panjang pegas, seperti yang ditunjukkan pada **Tabel 1** dan grafik pada **Gambar 3**. Terlihat bahwa konstanta pegas mengecil jika pegas semakin panjang, hal ini sesuai dengan **Persamaan 1**. Menggunakan hasil *fitting* grafik hubungan konstanta pegas dengan panjang pegas pada **Gambar 3** dapat ditentukan nilai modulus geser baja yang merupakan bahan pegas yang digunakan dalam penelitian ini. Pada penelitian ini kami lebih fokus kepada penggunaan metode ini.

KESIMPULAN

Dari penelitian yang telah dilakukan, dapat ditunjukkan bahwa metode analisis video osilasi sistem pegas massa dapat digunakan untuk mengukur nilai modulus

geser dari baja penyusun pegas. Dapat disimpulkan untuk pegas-pegas dengan bahan, diameter kawat pegas, dan jari-jari pegas yang sama, konstanta pegas mengecil jika panjang pegas semakin besar dan modulus geser baja adalah $G = (1,24 \pm 0,02)$ GPa.

UCAPAN TERIMAKASIH

Peneliti mengucapkan terima kasih kepada Kepala Laboratorium Fisika Universitas Sanata Dharma yang telah memberikan izin penggunaan lab sebagai tempat penelitian. Juga kepada laboran yang telah menyiapkan berbagai alat dan bahan sehingga penelitian ini dapat berjalan dengan baik.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] A. Suciarahmat, dan Y. Pramudya, "Aplikasi Sensor Smartphone dalam Eksperimen Penentuan Percepatan Gravitasi", *J. Fis. Indones.*, vol. 19, no. 55, pp. 10–13, 2015.
- [2] P. Vogt, dan J. Kuhn, "Analyzing Simple Pendulum Phenomena With a Smartphone Acceleration Sensor", *Phys. Teach.*, vol. 50, no. 7, pp. 439–440, Sep. 2012, doi: 10.1119/1.4752056.
- [3] J. J. Mendoza-Arenas, E. L. D. Perico, dan F. Fajardo, "Motion of a damped oscillating sphere as a function of the medium viscosity", *Eur. J. Phys.*, vol. 31, no. 1, pp. 129–141, 2009, doi: 10.1088/0143-0807/31/1/012.
- [4] R. Oktova, dan N. Diana, "Penentuan Koefisien Viskositas Air Menggunakan Metode Getaran Pegas dengan Koreksi Kedalaman Penetrasi dan Koreksi Efek Dinding", *Berk. Fis. Indones.*, vol. 5, no. 1, pp. 25–34, 2013.
- [5] S. M. Atay, C. D. Kroenke, A. Sabet, dan P. V Bayly, "Measurement of the Dynamic Shear Modulus of Mouse Brain Tissue In Vivo by Magnetic Resonance Elastography", *J. Biomech. Eng.*, vol. 130, no. 2, Mar. 2008, doi: 10.1115/1.2899575.
- [6] L. P. Fulcher, dan B. F. Davis, "Theoretical and Experimental Study of The Motion of The Simple Pendulum", *Am. J. Phys.*, vol. 44, no. 1, pp. 51–55, Jan. 1976, doi: 10.1119/1.10137.
- [7] R. Nelson dan M. Olsson, "The Pendulum - Rich Physics from a Simple System", *Am. J. Phys.*, vol. 54, no. 2, pp. 1120–121, 1986.
- [8] T. E. Cayton, "The Laboratory Spring-Mass Oscillator: an Example of Parametric Instability", *Am. J. Phys.*, vol. 45, no. 8, pp. 723–732, Aug. 1977, doi: 10.1119/1.11035.
- [9] L. Dai dan M. C. Singh, "On Oscillatory Motion of Spring-Mass Systems Subjected to Piecewise Constant Forces", *J. Sound Vib.*, vol. 173, no. 2, pp. 217–231, 1994, doi: <https://doi.org/10.1006/jsvi.1994.1227>.
- [10] E. Budi, "Kajian Fisis pada Gerak Osilasi Harmonis", *J. Penelit. Pengemb. Pendidik. Fis.*, vol. 1, no. 2, pp. 59–66, 2015.
- [11] H. I. R. Mosey, dan B. M. Lumi, "Penentuan Percepatan Gravitasi Lokal di Universitas Sam Ratulangi Manado Berdasarkan Teori Getaran Harmonik", *J. Ilm. Sains*, vol. 16, no. 2, pp. 104–107, 2016.
- [12] R. Ginoga, "Gerak Harmonik Sederhana Pada Pegas Dapat Digunakan Untuk Membuktikan Nilai Percepatan Gravitasi Bumi", *Din. Pembelajaran*, vol. 2, no. 1, pp. 82–90, 2020.
- [13] K. Widyaningrum, "Penentuan Percepatan Gravitasi Bumi Lokal dengan Bantuan Sistem Pegas-Massa dan Sensor Ultrasonik", *Inov. Fis.*

- Indones.*, vol. 4, no. 3, 2015.
- [14] C. A. Triana, dan F. Fajardo, “The Influence of Spring Length on The Physical Parameters of Simple Harmonic Motion”, *Eur. J. Phys.*, vol. 33, no. 1, pp. 219–229, 2011, doi: 10.1088/0143-0807/33/1/019.
- [15] G. Fowles, dan G. Cassiday, *Analytical mechanics*. Thomson Brooks/Cole, 2005.
- [16] R. A. Serway, dan J. W. Jewett, *Physics for Scientists and Engineers with Modern Physics*. Connected: Cengage Learning, 2013.

